Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 35-51

Elimination of Irrigation Restriction in Spring Corn(*Zea mays*) Planting by Relay-Intercropping with Canola(*Brassica napus* L.)

A. Koocheki[1*], G.A. Asadi[2], B. Bicharanlou[3] and M. Bagheri Shirvan[4]

Received: 22-07-2016
Revised: 15-12-2016
Accepted: 19-01-2017
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Koocheki, A., Asadi, G.A., Bicharanlou, B., and Bagheri Shirvan, M., 2022. Elimination of irrigation restriction in spring corn (*Zea mays*) planting by relay-intercropping with canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agroecology 14(1):35-51.
DOI:10.22067/jag.v1i1.57699

Introduction

Water shortage in spring for the cultivation of summer crops is a challenge for farmers in most parts of the country due to the fact that cultivation of these crops coincides with the one or two last irrigations needed for cereals during the critical stage of grain filling. Corn, sugar beet, and other summer crops are cultivated during such periods, and hence water allocation is normally problematic during this period. Relay cropping has been considered as a method to overcome such problems. Furthermore, overseeding of one crop to the stand of another crop in the last stage of development of the second crop (relay intercropping) has been considered as energy-saving and efficient resource use method. The aim of the present work was to investigate the possibility of relay intercropping of corn and canola in order to save water and hence overcome water shortage effects in early spring for summer crops.

Materials and Methods

In order to evaluate the possibility of relay intercropping of corn and canola, an experiment was conducted 10 kilometers west of Shirvan in two growing seasons of 2012-13 and 2013-14. The experiment was conducted as a randomized complete block design with six treatments and three replications. Treatments included four relay sowing rates of canola and corn (3 rows of canola: 1-row corn, three rows canola: 2-row corn, four rows canola: 2-row corn, six rows canola: 2-row corn), pure stands of canola and corn. Corn seeds were planted between canola rows at the end of the canola growth period to use the latest irrigation of canola for corn germination and emergence. A drip irrigation system was installed, and the amount of water used was measured. All field management operations, including irrigation, fertilizer application, and others, were practiced as the conventional farmers normally conduct. After crop ripening, necessary samples were taken, and finally, LER was calculated for comparison of the treatments.

Results and discussion

Analysis Variance of the data showed that the highest 1000-seed weight of canola (3.63 gr) and corn (221.69 gr) were obtained in 4:2 and 3:1 treatments, respectively. This was 3.35 gr for the pure stand of canola and 218.5 gr for the pure stand of corn. Economic and biological yields for both crops of canola and corn were highest in

1 and 2- Professor in Agroecology and Associate Professor in Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
3 and 4- Ph.D. Agroecology student and Ph.D. Crop ecology student, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
* Corresponding author: akooch@um.ac.ir

pure stands (2502.5, 9763.5 kg/ha for canola and 6207.6, 15769.2 kg/ha for corn, respectively). The highest seed yield of corn was obtained in 2-row corn and 3-row wheat, but in research, by Adeniyan et al. (2007), the highest seed yield was obtained in pure stand. Harvest index of canola was 26.03 in 3:2 ratio indicating no significant difference with other treatments. The maximum harvest index of corn (40.53%) was observed in the 3:1 ratio. In an experiment by Nassiri Mahallati et al. (2011), the harvest index of corn and wheat was highest in pure stands, but the highest harvest index of canola was found in 4-row canola with wheat cultivation. The highest total LER (1.11) was obtained in 3:1, followed by the 6:2 ratio (1.016). The total water used for the pure stand of canola was 3750 m^3/ha, whereas it was 9081 m^3/ha for corn. If corn was planted after canola, total water use had been 12831 m^3/ha, whereas when they were relay intercropped, water consumption was 10915 m^3/ha, saving 1916 m^3/ha of water. Zarehaghi et al. (2016) also reported that water consumption in intercropped treatments of corn and bean was less than in pure cultures of these crops.

Conclusion

The highest seed yield of both plants was obtained in pure stand. Between different intercropping ratios of canola and maize, the maximum land equivalent ratio that was more than one (1.11 and 1.016) was observed in 3:1 and 6:2 treatments, respectively. The amount of water saved by relay intercropping of these crops was 1916 m^3/ha, which is a considerable amount of water.

Keywords: Biological yield, Harvest index, LER, Yield, Yield components.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

رفع محدودیت آبیاری بهاره در کاشت ذرت(*Zea mays*) با استفاده از کشت مخلوط تأخیری با کلزا(*Brassica napus* L.)

علیرضا کوچکی[1*]، قربانعلی اسدی[2]، بهاره بیچرانلو[3]و میلاد باقری شیروان[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۳

کوچکی، ع.، اسدی، ق.ع.، بیچرانلو، ب.، و باقری شیروان، م.، ۱۴۰۱. رفع محدودیت آبیاری بهاره در کاشت ذرت(*Zea mays*) با استفاده از کشت مخلوط تأخیری با کلزا(*Brassica napus* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۵۱–۳۵.

چکیده

محدودیت آب آبیاری در بهار برای کشت محصولات تابستانه چالشی است که کشاورزان در اکثر مناطق ایران از جمله استان خراسان شمالی با آن مواجه هستند. دلیل این مسئله، تداخل آبیاری در هنگام کاشت محصولات بهاره با یک یا دو نوبت آبیاری نهایی غلات که در مرحله بحرانی پر شدن دانه هستند، می‌باشد. به‌منظور امکان‌سنجی کشت ذرت(*Zea mays*) و کلزا(*Brassica napus* L.) به‌روش تأخیری جهت رفع محدودیت آب، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان شیروان در دو سال زراعی ۹۳–۱۳۹۲ و ۹۴–۱۳۹۳ اجرا گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار نسبت مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت (سه ردیف کلزا + یک ردیف ذرت (۳:۱)، سه ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۳:۲)، چهار ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۴:۲) و شش ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۶:۲)) و همچنین کشت خالص کلزا و ذرت بود. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه کلزا در نسبت اختلاط ۳:۱ (به‌ترتیب ۲۱۲۶/۸ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین عملکرد دانه ذرت نیز در کشت خالص (۶۲۰۷/۶ کیلوگرم در هکتار) و سپس به‌ترتیب در نسبت‌های ۳:۲ و ۴:۲ بود. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، کشت ۳:۱ و پس از آن ۶:۲ که دارای نسبت برابری زمین بالاتر از واحد بودند، بیشترین مقدار LER (به‌ترتیب ۱/۱۱۴ و ۱/۰۱۶) را به خود اختصاص دادند که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط می‌باشد. میزان آب مصرفی در کشت خالص کلزا ۳۷۵۰ متر مکعب در هکتار و در کشت خالص ذرت ۹۰۸۱ مترمکعب در هکتار بود. چنانچه ذرت پس از برداشت کلزا کشت گردد، کل آب مصرفی ۱۲۸۳۱ متر مکعب خواهد بود. در حالی‌که کل آب مصرفی در کشت مخلوط کلزا و ذرت ۱۰۹۱۵ متر مکعب بود و مقدار ۱۹۱۶ متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی شد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، شاخص برداشت، عملکرد، عملکرد بیولوژیک، نسبت برابری زمین

مقدمه

محدودیت آب آبیاری در بهار در اکثر مناطق ایران از جمله استان خراسان شمالی یکی از مشکلات مهمی است که در سال‌های اخیر اغلب کشاورزان منطقه با آن مواجه هستند. ذرت (*Zea mays* L.) یکی از محصولاتی است که به‌طور متداول در منطقه بعد از برداشت کلزا (*Brassica napus* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) کشت شده و جایگاه ویژه‌ای در تأمین غذای دام، طیور، مصارف دارویی و غذایی دارد (Nassiri Mahallati et al., 2011 ; Nakhjavanimoghadam et al., 2011). کلزا نیز یکی از مهم‌ترین

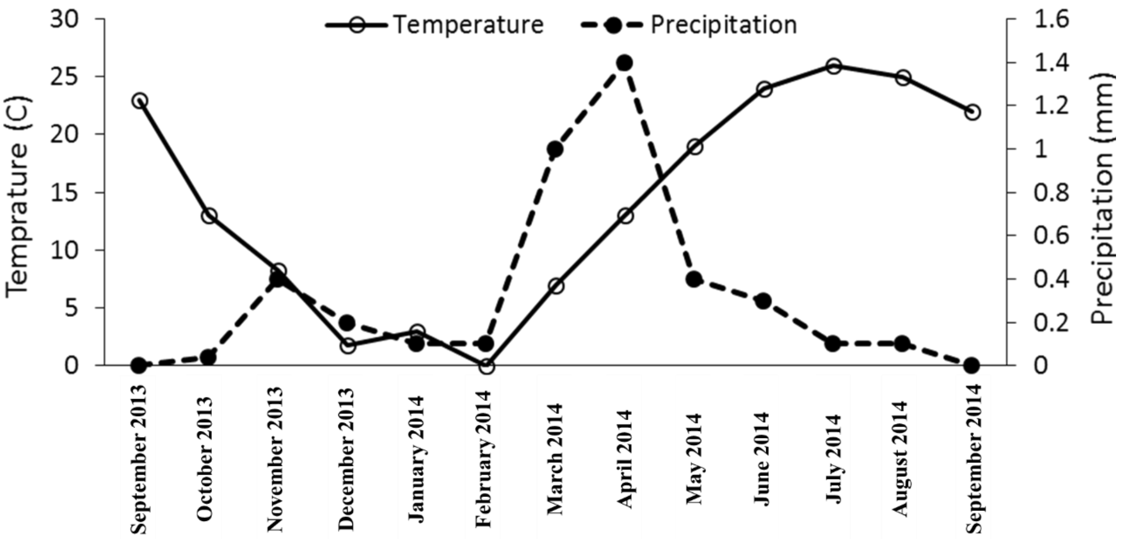
۱ و ۲– به‌ترتیب استاد و دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳ و ۴– به‌ترتیب دانشجوی دکترای اگرواکولوژی و دانشجوی دکترای اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(نویسنده مسئول: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v1i1.57699

دانه‌های روغنی است که در مناطقی با زمستان سرد و معتدل مانند خراسان شمالی به‌صورت پاییزه کشت می‌گردد (Koocheki et al., 2014a). امّا مشکل دیگری که کشاورزان در اجرای این توالی (گندم و کلزا با ذرت) با آن مواجه هستند، علاوه‌بر محدودیت آب آبیاری، زمان‌بر بودن آماده‌سازی زمین جهت کاشت ذرت بعد از برداشت گندم یا کلزا می‌باشد که این تأخیر درکاشت گاهی سبب وقوع سرمازدگی ذرت در اوایل پاییز و به‌عبارتی در انتهای دوره رشد ذرت می‌شود. برای حل این مشکلات یکی از راه‌هایی که به نظر می‌رسد مفید واقع گردد، طراحی کشت‌های مخلوط تأخیری محصولات پاییزه و بهاره می‌باشد که ضمن استفاده بهینه از منابع، سبب افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص و افزایش تنوع محصول می‌گردد (Koocheki et al., 2014a; Nassiri Mahallati et al., 2011). همچنین به‌دلیل عدم نیاز به آماده‌سازی زمین، علاوه‌بر صرفه‌جویی در وقت و سوخت، با کاهش رفت و آمد ماشین‌آلات در زمین، از فشردگی خاک نیز جلوگیری می‌شود.

کشت مخلوط تأخیری یکی از انواع کشت مخلوط است که در آن، دو گیاه به‌صورت متوالی در یک قطعه زمین کشت می‌شوند، به‌طوری‌که قبل از برداشت یک گیاه، گیاه دوم بین ردیف‌های گیاه اول کشت می‌گردد (Van Der Meer, 1989)، از زمان کشت گیاه دوم تا برداشت گیاه اول، هر دو گیاه با یکدیگر رشد کرده و برای نور، آب و مواد غذایی رقابت می‌نمایند. پس از برداشت گیاه اول، فضا به‌طور کامل در دسترس گیاه دوم قرار گرفته و از خلاء به‌وجود آمده پس از برداشت گیاه اول، کانوپی گیاه دوم توسعه می‌یابد (Zhang et al., 2008b). بنابراین، به‌دلیل رشد اجزای مخلوط در دو زمان به نسبت متفاوت، کارایی جذب و مصرف نهاده‌ها بهبود می‌یابد (Koocheki et al., 2012). چنان که کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) بیشترین کارایی مصرف نیتروژن را در مخلوط تأخیری گندم و ذرت با نسبت سه ردیف گندم+ دو ردیف ذرت و نصیری و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2010) نیز بالاترین کارایی مصرف نور را در مخلوط ۲: ۳ (ذرت: گندم) گزارش کردند که در هر دو پژوهش کارایی‌های ذکر شده در تمامی نسبت-های اختلاط بالاتر از خالص بوده است. در خصوص کارایی مصرف و بهره‌وری آب نیز کشت مخلوط تأخیری کلزا با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و ذرت موفقیت‌آمیز بوده و علاوه‌بر بالا بودن نسبت برابری زمین، کارایی مصرف آب در تیمارهای مخلوط بالاتر از خالص بوده است (Koocheki et al., 2014b). در واقع ،کشت مخلوط تأخیری امکان توزیع مناسب زمانی و مکانی منابع را برای استفاده بهینه دو گیاه فراهم می‌آورد (Koocheki et al., 2012). در این حالت به‌منظور سبز شدن و استقرار گیاه دوم از آخرین آبیاری گیاه اول استفاده می‌شود. از این رو، توجه برخی پژوهشگران به بررسی این موضوع معطوف شده است. کشت مخلوط تأخیری گندم زمستانه و ذرت (Koocheki et al., 2012; Nassiri Mahallati et al., 2010)، گندم زمستانه و پنبه (*Gossypium hirsotum* L.) (Zhang et al., 2008a)، چند کشتی تأخیری کلزا با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و ذرت (Najibnia et al., 2014) و همچنین ماشک برگ درشت (*Vicia narbonensis* L.) و ترتیکاله (X Triticosecale witmack) (Azizi et al., 2014) نمونه‌ای از تلاش محققان در این زمینه است. از این‌رو، به نظر می‌رسد کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت راهکار مناسبی به‌منظور رفع مشکلات ناشی از کشت این دو گیاه در منطقه باشد. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف استفاده از آبیاری نهایی کلزا جهت سبز شدن و استقرار ذرت در بین ردیف‌های کلزا، جهت صرفه‌جویی در مصرف آب طراحی و اجرا گردید.

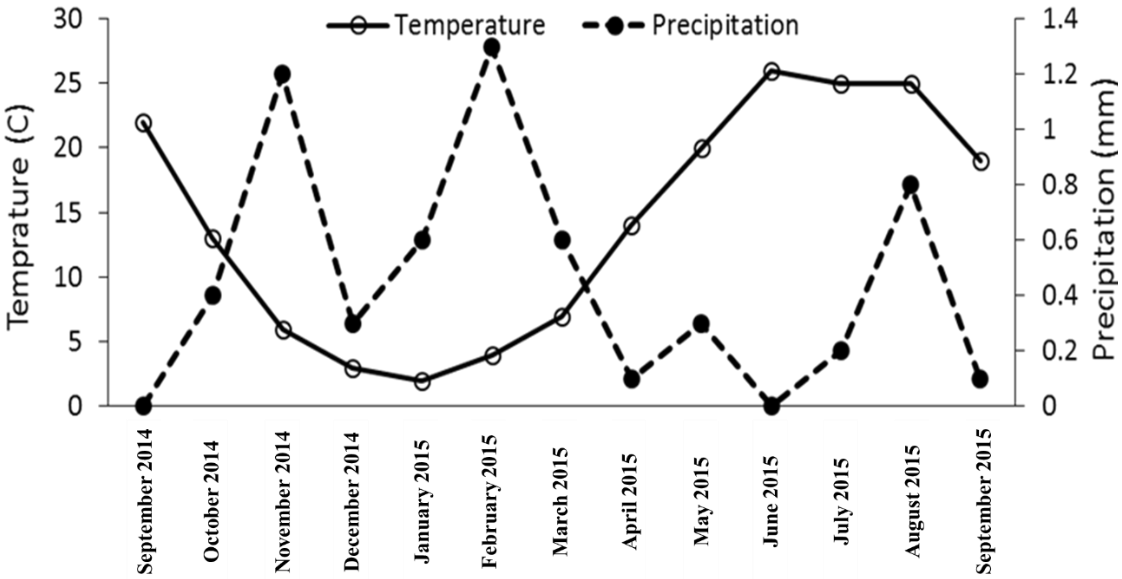
مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان شیروان (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۷۵ متر از سطح دریا) در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ اجرا گردید. میانگین ماهیانه دما و بارندگی در شکل‌های ۱ و ۲ و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. همچنین میانگین دراز مدت میزان بارش سالیانه ۲۷۹ میلی‌متر و میانگین دما ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱- منحنی دما-بارش (میانگین ماهیانه) برای منطقه شیروان در ۹۳-۱۳۹۲ (اطلاعات هواشناسی)

Fig. 1- Temprature-precipitation curve (monthly mean) for Shirvan area in 2013-14



شکل ۲- منحنی دما-بارش (میانگین ماهیانه) برای منطقه شیروان در ۹۴-۱۳۹۳ (اطلاعات هواشناسی)

Fig. 2. Temprature-precipitation curve (monthly mean) for Shirvan area in 2014-15

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Some of soil physical and chemical characteristics

بافت Texture	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	جرم مخصوص ظاهری ρb
رسی Clay	290	26.3	0.15	2.25	7.8	1.44

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شـش تیمـار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش در هر دو سال یکسان و شامل چهار نسبت مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت به‌صورت سـه ردیف کلزا + یک ردیف ذرت (۳:۱)، سه ردیف کلزا + دو ردیـف ذرت

(۳:۲)، چهار ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۴:۲) و شش ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۶:۲) و همچنین کشت خالص کلزا و ذرت بود. کرت‌های آزمایشی به مساحت ۲۰ مترمربع، شامل ۱۰ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و طول چهار متر بود. به‌منظور کاهش اثرات تیمارها بر یکدیگر، بین هر کرت ۱/۵ متر و بین بلوک‌ها ۲/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد.

کلزا، رقم اکاپی، در سال اول در پنجم مهر و در سال دوم در اول مهر بر روی نوارهای مربوط به این گیاه کشت گردید. به‌منظور دستیابی به فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر، گیاهان قبل از رسیدن به مرحله سه تا چهار برگی تنک شدند. ذرت، سینگل کراس ۷۰۴ در هر دو سال آزمایش در اول خرداد بر روی ردیف‌هایی که از پیش برای این گیاه مشخص شده بود، کشت گردید. در خصوص هر دو گیاه آبیاری بلافاصله پس از کاشت و توسط سیستم قطره‌ای انجام گرفت. به‌منظور تعیین میزان آب مصرفی هر کرت، از کنتور حجمی استفاده گردید. تاریخ کاشت ذرت به نحوی انتخاب شد که دومین آبیاری ذرت که یک هفته پس از آبیاری اول انجام گرفت با آخرین آبیاری کلزا (زمانی که ۲۰ درصد غلاف‌های ساقه اصلی قهوه‌ای شده بودند) انطباق داشته و بوته‌های ذرت استقرار خوبی داشته باشند. بذرهای ذرت به‌صورت کپه‌ای کشت گردید و سپس به‌منظور رسیدن به فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف، گیاهان قبل از رسیدن به مرحله چهار تا شش برگی تنک شدند. در طول آزمایش در هر دو سال، در صورت نیاز، عملیات مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت و در طول فصل رشد از هیچ گونه کود و سم شیمیایی استفاده نشد. در هر دو سال آزمایش، گیاه کلزا در تمام تیمارهای آزمایش همزمان با رسیدگی ۸۵ تا ۹۰ درصد دانه‌ها در غلاف‌های ساقه اصلی و شاخه‌های اولیه در تاریخ ۳۰ خرداد برداشت گردید. ذرت نیز در ۲۰ مهر در سال اول و ۲۵ مهر در سال دوم همزمان با رسیدگی فیزیولوژیک برداشت گردید. برداشت گیاهان در تیمارهای خالص و مخلوط از هشت ردیف میانی هر کرت با طول یک متر روی ردیف (در وسط هر ردیف) انجام گرفت (مساحتی معادل چهار مترمربع) و عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت محاسبه گردید. به‌منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد هر یک از گیاهان، تعداد پنج بوته از مساحت برداشت شده به‌عنوان نمونه انتخاب شد و صفات تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، وزن دانه در بوته و وزن خشک اندام هوایی هر بوته برای کلزا و صفات تعداد برگ، تعداد بلال در بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه، وزن دانه در بوته و وزن خشک اندام هوایی هر بوته در ذرت اندازه‌گیری شد. قبل از برداشت گیاهان، ارتفاع پنج بوته از هر گیاه اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارتفاع بوته لحاظ گردید.

به‌منظور بررسی سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی از نسبت برابری زمین (LER) استفاده شد (معادله ۱).

$$\mathrm{LER} = (Y_{Ci}/Y_C) + (Y_{Mi}/Y_M) \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، Y_{Ci} و Y_C: به‌ترتیب عملکرد کلزا در کشت مخلوط و کشت خالص و Y_{Mi} و Y_M: به‌ترتیب عملکرد ذرت در کشت مخلوط و تک‌کشتی می‌باشد. در صورتی که حاصل معادله ۱ بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط و درصورتی‌که کمتر از یک باشد، بیانگر عدم موفقیت کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (Mead & Willey, 1980).

تجزیه داده‌ها به‌صورت تجزیه مرکب و با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver. 9.2) و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در دو سال آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال بر کلیه صفات مورد بررسی کلزا به غیر از ارتفاع گیاه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود، امّا اثر متقابل سال و نسبت‌های کشت مخلوط در هیچ یک از صفات مورد مطالعه در کلزا معنی‌دار نشد که نشان‌دهنده این است که تیمارهای آزمایش تحت تأثیر اثر سال قرار نگرفته‌اند. در خصوص معنی‌دار شدن اثر سال می‌توان چنین بیان نمود که عملکرد در سال‌های مختلف تحت تأثیر تغییراتی که در شرایط محیطی، آب و هوایی و خسارات آفات رخ می‌دهد، می‌تواند متغیر باشد. اثر نسبت‌های کشت مخلوط نیز روی ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و عملکرد زیستی در سطح یک درصد ($p\leq$۰/۰۱) معنی‌دار بود، امّا تعداد دانه در خورجین وزن دانه در بوته و شاخص برداشت تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط قرار نگرفتند (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در کلزا در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری با ذرت در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of canola measured traits in different patterns of relay intercropping with corn in 2013-14 and 2014-15

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن دانه در بوته Seed weight.plant^{-1}	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در خورجین Seed number. pod^{-1}	تعداد خورجین در بوته Pod number.plant^{-1}	تعداد شاخه در بوته Branch number.plant^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
سال Year	1	291.3854**	103.1015**	21.0840**	450.623**	7956.68**	3.9385**	0.9875$^{n.s.}$	142.8723**	64867990**	8898829.3**
خطای سال Year error	4	0.4195	0.8286	0.0502	20.1183	127.1427	0.9427	15.7987	3.1061	161631.9	59766
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	4	8.5809**	0.6880$^{n.s.}$	0.6589**	3.0802$^{n.s.}$	3088.28**	15.2726**	106.04**	1.8844$^{n.s.}$	12555853**	733212.7**
سال× نسبت‌های کشت Year*intercropping ratios	4	0.7110$^{n.s.}$	0.0843$^{n.s.}$	0.0437$^{n.s.}$	0.5538$^{n.s.}$	9.2887$^{n.s.}$	1.1517$^{n.s.}$	0.2404$^{n.s.}$	1.5642$^{n.s.}$	728185.6$^{n.s.}$	56060$^{n.s.}$
خطا Error	16	2.4224	0.6879	0.0940	10.5208	40.8854	0.4203	15.8885	2.5567	405633.2	61738.5
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	7.874	12.144	9.678	10.518	6.021	6.597	4.624	6.329	8.137	12.381

*، ** و n.s.؛ به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری.

*, ** and n.s.: are significant at 5% and 1% levels of probability and not significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در کلزا در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری با ذرت در سال‌های ۹۳-۹۲ و ۹٤-۹۳

Table 3- Mean comparison of measured traits of canola in different patterns of relay intercropping with corn in 2013-14 and 2014-15

تیمارهای ازمایش treatments	وزن خشک اندام هوایی در بوته Shoot dry weight.plant^{-1} (g)	وزن دانه در بوته Seed weight.plant^{-1} (g)	وزن هزار دانه 1000-seed weigh (g)	تعداد دانه در خورجین Seed number.pod^{-1}	تعداد خورجین در بوته Pod number.plant^{-1}	تعداد شاخه در بوته Branch number.plant^{-1}	ارتفاع Height (cm)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
سال (Year)										
سال اول (۹۳-۱۳۹۲) First year (2013-14)	22.88	8.68	4.01	26.96	122.4	10.19	86.37	27.44	9296.8	2551.3
سال دوم (۹۴-۱۳۹۳) Second year (2014-15)	16.64	4.97	2.33	34.71	89.91	9.46	86.01	23.07	6355.8	1462.0
LSD	0.66	0.92	0.23	4.55	11.43	0.98	4.03	1.79	407.58	247.84
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios										
۳ ردیف کلزا: ۱ ردیف ذرت (3 rows of canola: 1 rows of corn)	21.30	7.08	2.95	31.21	107.0	11.29	91.14	24.45	8517.2	2126.8
۳ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (3 canola rows of: 2 rows of corn)	19.12	6.85	2.79	31.57	130.6	10.56	90.32	26.03	6234.5	1645.7
۴ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (4 rows of canola: 2 rows of corn)	20.32	7.07	3.63	30.43	105.2	9.47	82.53	25.33	6576.9	1697.9
۶ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (6 rows of canola: 2 rows of corn)	19.92	6.86	3.11	31.17	118.1	10.57	84.22	25.21	8039.4	2060.8
کشت خالص کلزا (Canola pure culture)	18.15	6.25	3.35	29.79	69.91	7.22	82.74	25.26	9763.5	2502.5
LSD 0.05	1.9	1.02	0.38	3.97	7.83	0.79	4.88	1.96	779.51	304.11

بررسی مقایسه میانگین صفات (جدول ۳) حاکی از این بود که مقادیر کلیه صفات مورد بررسی در سال اول بیشتر از سال دوم بود، به‌جز ارتفاع گیاه و تعداد شاخه در بوته که در دو سال تفاوت معنی‌داری نشان نداد و تعداد دانه در خورجین که در سال اول کمتر بود. ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی در اثر تغییر تراکم و آرایش کاشت و در نتیجه، تغییر فضا و نور دریافتی ممکن است متغیر باشد که در دو سال تفاوتی مشاهده نشد که نشان‌دهنده یکسان بودن آرایش کاشت و رعایت تراکم مطلوب در هر دو سال است. دلیل بیشتر بودن مقادیر سایر صفات در کلزا در سال اول نسبت به سال دوم می‌تواند در نتیجه تغییر در شرایط محیطی بین دو سال از جمله دما و بارش باشد که در شکل‌های ۱ و ۲، این تفاوت مشخص است. از سوی دیگر، در سال دوم، کلزا مورد حمله شته‌ها قرار گرفت و چون در این آزمایش تصمیم بر عدم استفاده از سموم شیمیایی بود، از سمپاشی خودداری گردید که سبب افت عملکرد در سال دوم نسبت به سال اول گردید.

ارتفاع بوته کلزا در نسبت‌های ۳:۱ و ۳:۲ بیش از سایر نسبت‌های کشت مخلوط بود و بین سایر نسبت‌های کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). تعداد شاخه در بوته و وزن خشک اندام هوایی، نیز در نسبت ۳:۱ بیشترین مقادیر را نشان دادند که از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت‌های ۳:۲ و ۶:۲ بود. کمترین تعداد شاخه در بوته و وزن خشک اندام هوایی در کشت خالص کلزا مشاهده شد. دلیل این مسئله می‌تواند بیشتر بودن فضا جهت توسعه شاخه‌ها در نسبت‌های اختلاط با ذرت که در طول فصل رشد به‌دلیل تأخیری بودن کشت مخلوط و عدم حضور ذرت، برای کلزا قابل استفاده بوده است، باشد. امّا در کشت خالص کلزا که فضای خالی موجود نیست، نفوذ نور به داخل کانوپی کم و افزایش غالبیت انتهایی سبب کاهش تعداد شاخه فرعی می‌شود (Amirmardfar et al., 2015). تعداد خورجین در بوته در نسبت اختلاط ۳:۲ بیشترین تعداد (۱۳۰/۶) و در کشت خالص کمترین مقدار را نشان داد که دلیل این مسئله می‌تواند رقابت درون گونه‌ای در کشت خالص و نفوذ بهتر نور در نسبت اختلاط ۳:۲ باشد. در بررسی کشت مخلوط کلزا و نخود نیز، بیشترین تعداد خورجین در بوته در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و کمترین تعداد دانه در خورجین در کشت خالص کلزا گزارش شد (Namdari & Mahmoudi, 2013). در خصوص تعداد دانه در خورجین در این آزمایش بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. امّا نیک نژاد و همکاران (Niknezhad et al., 2009) در بررسی کشت مخلوط تأخیری کلزا بعد از برنج، بیشترین تعداد دانه در خورجین در تاریخ کاشت‌های ۱۵ و ۱۰ روز قبل از برداشت برنج مشاهده شد و با تأخیر در کاشت، تعداد دانه در خورجین نیز کاهش نشان داد. این در حالی است که در کشت مخلوط کلزا و گندم، بیشترین تعداد خورجین در بوته در کشت خالص آن مشاهده شد و تیمارهای کشت مخلوط دوردیفه و سه ردیفه گندم-کلزا کمترین مقدار این صفت را دارا بودند (Zulfiqar et al., 2000).

بیشترین وزن هزار دانه کلزا (۳/۶۳ گرم) در آرایش کاشت ۴:۲ مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با کشت خالص کلزا و نسبت ۶:۲ بود. کمترین مقدار وزن هزار دانه کلزا در آرایش‌های ۳:۱ و ۳:۲ (به‌ترتیب ۲/۹۵ و ۲/۷۹ گرم) مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بودند که به نظر می‌رسد افزایش تعداد خورجین در بوته سبب کاهش وزن هزار دانه در این نسبت کشت شده باشد که دلیل این امر را می‌توان به کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی اختصاص یافته در نتیجه تعدد مخازن دانست. نامداری و محمودی (Namdari & Mahmoudi, 2013) در بررسی کشت مخلوط کلزا و نخود گزارش کردند که کشت خالص کلزا و نسبت کاشت ۲۵: ۷۵ (نخود: کلزا) به‌ترتیب با میانگین ۴/۹ و ۳/۹ گرم بیشترین وزن هزار دانه و نسبت کاشت ۵۰:۵۰ (نخود: کلزا) با میانگین ۳/۳ گرم کمترین وزن هزار دانه کلزا را نشان دادند که البته بین نسبت ۵۰:۵۰ و ۲۵: ۷۵ به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. وزن دانه در بوته تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط قرار نگرفت، به‌طوری‌که اختلافی بین نسبت‌ها در خصوص وزن دانه در بوته مشاهده نشد.

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی کلزا متعلق به کشت خالص آن (به‌ترتیب ۲۵۰۲/۵ و ۹۷۶۳/۵ کیلوگرم در هکتار) و در بین الگوهای کشت مخلوط بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی کلزا در نسبت اختلاط ۳:۱ (به‌ترتیب ۲۱۲۶/۸ و ۸۵۱۷/۲ کیلوگرم در هکتار) بود که فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت ۶:۲ بودند (جدول ۳). دلیل بالاتر بودن عملکرد زیستی را در کشت خالص می توان به بالاتر بودن رقابت بین گیاهان و افزایش رشد رویشی جهت جذب بهتر نور نسبت داد و دلیل پایین بودن عملکرد گونه‌ها در مخلوط نسبت به خالص، تراکم هر گیاه می‌باشد که در خالص نسبت به

تیمارهای مخلوط جایگزینی بیشتر است. چنان که در پژوهش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014a) که روی کشت مخلوط گندم و کلزا انجام شد نیز بیشترین عملکرد دانه کلزا در کشت خالص مشاهده شد و در بین الگوهای کشت مخلوط بیشترین عملکرد دانه کلزا در تیمار سه ردیفی کلزا: گندم گزارش شد. در کشت مخلوط تأخیری گندم با ذرت نیز عملکرد گندم و ذرت در تمامی تیمارهای مخلوط کمتر از خالص بود؛ با این حال بالاترین عملکرد گندم و ذرت بعد از خالص بین تیمارهای مخلوط در نسبت ۳:۲ (ذرت: گندم) مشاهده شد (Nassiri Mahallati et al., 2011). اختلاف معنی‌داری در خصوص شاخص برداشت بین کشت خالص کلزا با تیمارهای مختلف کشت مخلوط مشاهده نشد (جدول ۳). امّا به‌طور کلی، بیشترین شاخص برداشت کلزا (۲۶/۰۹) در نسبت اختلاط ۳:۲ مشاهده شد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014a) اظهار داشتند که بیشترین شاخص برداشت کلزا (۵۳ درصد) در الگوی چهار ردیفی مخلوط با گندم مشاهده شد. در کشت مخلوط گندم و ذرت هم، نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2011) بیان نمودند که شاخص برداشت گندم و ذرت در کشت خالص بیشتر از مخلوط است، امّا اختلاف معنی‌داری بین شاخص برداشت در تیمارهای مختلف کشت مخلوط دیده نشد.

عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

نتایج تجزیه واریانس در دو سال در جدول ۴ آورده شده است. اثر سال بر تمامی صفات مورد بررسی در ذرت به‌جز تعداد بلال در بوته معنی‌دار شد. با این حال، اثر متقابل سال و نسبت‌های کشت مخلوط در هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نبود. بنابراین، اثر سال روی نتایج حاصل از تیمارها تأثیر گذار نبود. اثر نسبت‌های کشت مخلوط بر روی ارتفاع ذرت، تعداد برگ در بوته، تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، وزن دانه در بوته، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و عملکرد زیستی در سطح یک درصد معنی‌دار شد، امّا روی تعداد ردیف در بلال و شاخص برداشت تأثیری مشاهده نشد (جدول ۴).

بررسی مقایسه میانگین صفات مختلف در ذرت نشان داد که کلیه صفات مورد بررسی در سال اول بیشتر از سال دوم بود، به‌جز تعداد بلال در بوته و تعداد ردیف در بلال که در دوسال فاقد اختلاف بود (جدول ۵) که می تواند به‌دلیل اختلاف در شرایط محیطی در دو سال باشد.

بیشترین مقدار ارتفاع و تعداد برگ در هر بوته ذرت در کشت خالص به‌دلیل رقابت درون گونه‌ای برای جذب بیشتر نور و کمترین مقدار آن‌ها در آرایش کاشت ۴:۲ مشاهده شد که نشان‌دهنده نفوذ بهتر نور در این نسبت کشت است. بین نسبت‌های ۶:۲، ۳:۲ و ۳:۱ اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۵). در آزمایشی که توسط آدنیان و همکاران (Adeniyan et al., 2007) انجام شد، بیشترین ارتفاع ذرت و کنف (*Hibiscus cannabinus* L.) در کشت مخلوط ذرت، کنف و لوبیای آفریقایی (*Sphenostylis stenocarpa* Hoechst) مشاهده شده است. مطالعه روی سطوح مختلف نیتروژن و کشت مخلوط ذرت با سویا (*Glycine max* L.) حاکی از افزایش ارتفاع ذرت، تعداد برگ، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت در بالاترین سطح کود نیتروژن (۱۲۰ $kg\ N.ha^{-1}$) و در کشت خالص آن نسبت به مخلوط بود (Panhwar et al., 2004). بیشترین تعداد بلال در بوته در کشت خالص ذرت مشاهده شد که البته فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت‌های اختلاط ۳:۱، ۶:۲ و ۴:۲ بود و کمترین تعداد بلال نیز در نسبت ۳:۲ دیده شد. بیشترین تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در بلال در کشت خالص بود، امّا بین سایر نسبت‌های کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). در حالی‌که طبق نتایج خرمی وفا و همکاران (Khoramivafa et al., 2007)، در کشت مخلوط ذرت و کدوی تخمه کاغذی، تعداد دانه در بلال بیشتر از سایر اجزای عملکرد تحت تأثیر کشت مخلوط با کدوی تخمه کاغذی گزارش شده است و با افزایش تراکم ذرت، رو به کاهش نهاده است.

وزن هزار دانه ذرت در نسبت ۳:۱ بیشترین مقدار (۲۲۱/۶۹ گرم) را نشان داد که فاقد اختلاف معنی‌دار با کشت خالص ذرت و سایر نسبت‌های کشت بود. از آنجایی که نسبت‌های ۳:۱ و ۳:۲ کمترین تعداد دانه در بلال را داشتند، توان بیشتری در پر کردن دانه‌ها نسبت به کشت خالص که دارای تعداد دانه بیشتری در بلال بود، نشان دادند. بنابراین، دانه‌های درشت تر با وزن بیشتر امّا تعداد کم در نسبت ۳:۱ نسبت به خالص مشاهده گردید. امّا در خصوص وزن دانه در بوته، بیشترین مقدار در کشت خالص مشاهده شد و بین سایر نسبت‌های کاشت، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، که می تواند به‌دلیل بیشتر بودن تعداد دانه در بلال در کشت خالص باشد.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در ذرت در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری با کلزا در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹٤-۱۳۹۳

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of corn measured traits in different patterns of relay intercropping with canola in 2013-14 and 2014-15

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن خشک اندام هوایی در بوته Shoot dry weight per plant	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در بلال Seed number per ear	تعداد ردیف در بلال Row number per ear	تعداد بلال در بوته Ear number per plant	تعداد برگ Leaf number per plant	ارتفاع Height	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
سال Year	1	1819.12**	2499.42**	11343.24**	9363.33**	4.8**	0.1333n.s.	24.30**	4489.633**	137.533**	13903297.6**	4005003.3**
خطای سال Year error	4	67.577	7.2645	247.38	123.66	0.766	0.166	0.4	87.466	1.5995	445703.8	18043.4
نسبت‌های کشت مخلوط intercropping ratios	4	657.552**	347.283**	651.9238**	7895.71**	0.95n.s.	0.8833**	4.3833**	2012.366**	19.9982n.s.	180175088.9**	28269673.7**
سال×نسبت‌های کشت Year*intercropping ratios	4	9.515n.s.	12.761n.s.	52.3115n.s.	353.25n.s.	0.3833n.s.	0.05n.s.	0.05n.s.	103.466n.s.	2.4834n.s.	652740.9n.s.	178385.8**
خطا Error	16	59.147	6.662	101.249	144.4583	0.39166	0.166	0.3166	90.2166	7.4347	250348.2	10140.1
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	9.80	5.21	4.79	5.25	4.62	25.51	4.04	5.07	7.09	8.31	4.30

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ذرت در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری با کلزا در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹٤-۱۳۹۳

Table 5- Mean comparison of corn measured traits in different patterns of relay intercropping with canola in 2013-14 and 2014-15

تیمارها Treatments	ارتفاع Height (cm)	وزن خشک اندام هوایی در بوته Shoot dry weight per plant (g)	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	تعداد دانه در بلال Seed numbers per ear	تعداد ردیف در بلال Row numbers per ear	تعداد بلال در بوته Ear numbers per plant	تعداد برگ Leaf numbers per plant	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
سال (Year)											
سال اول (۹۳-۱۳۹۲) First year (2013-14)	199.5	86.2	58.58	299.2	246.2	13.93	1.66	14.80	40.54	6701.6	2705.2
سال دوم (۹۴-۱۳۹۳) Second year (2014-15)	175.0	70.62	40.33	190.3	210.9	13.13	1.53	13	36.26	5340.1	1974.5
LSD 0.05	8.33	2.73	15.95	11.27	0.89	0.41	0.64	9.48	1.28	676.82	136.18
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios											
۳ ردیف کلزا: ۱ ردیف ذرت (3 rows of canola: corn 1)	177.3	70.83	48.83	221.6	209.8	13.33	1.83	13.33	40.53	2991.8	1220.9
۳ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (3 rows of canola: corn 2)	188	70.89	41.48	204.4	197.1	13.33	1.0	13.83	36.61	4494.9	1659.2
۴ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (4 rows of canola: corn 2)	166.6	73.74	47.80	207.7	222.0	13.16	1.5	12.83	39.14	3646.3	1434.0
۶ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (6 rows of canola: corn 2)	188.6	80.98	47.10	196.4	223.3	13.66	1.67	14.67	36.37	3202.2	1177.6
کشت خالص ذرت Corn pure culture	215.8	95.61	62.07	218.8	290.6	14.16	2.0	14.83	39.36	15769.2	6207.6
LSD 0.05	9.41	3.16	12.32	14.71	0.77	0.50	0.69	11.63	3.34	612.39	123.25

در خصوص وزن خشک اندام هوایی در بوته، بیشترین مقدار در کشت خالص مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت‌های ۶:۲ و ۴:۲ بود. که می‌تواند به‌دلیل رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌های ذرت با یکدیگر بوده باشد. بین نسبت‌های ۳:۲ و ۳:۱ در خصوص وزن خشک اندام هوایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در پژوهشی روی کشت مخلوط ذرت و آفتابگردان با سویا نیز کشت خالص هر یک از گیاهان دارای بالاترین وزن خشک اندام هوایی نسبت به کشت مخلوط بودند (Echarte et al., 2011). لی و همکاران (Li et al., 2001) در بررسی کشت مخلوط گندم/ذرت و گندم/سویا، گزارش کردند که در طی مراحل اولیه رشد، میزان ماده خشک در کشت مخلوط نسبت به خالص به‌طور معنی‌داری کمتر بوده، امّا در مراحل انتهایی رشد که گندم برداشت شده است، میزان تجمع ماده خشک ذرت در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص ذرت بوده است.

بیشترین عملکرد دانه ذرت در کشت خالص (۶۲۰۷/۶ کیلوگرم در هکتار)، سپس به‌ترتیب در نسبت‌های ۳:۲ و ۴:۲ مشاهده شد (جدول ۵). بنابراین، با کاهش تعداد ردیف‌های ذرت و افزایش ردیف‌های کلزا، عملکرد دانه ذرت در هکتار کاهش یافت. در آزمایش نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri et al., 2011) مشاهده شد که در کشت مخلوط گندم و ذرت نیز، بالاترین عملکرد گندم و ذرت در مخلوط ۲: ۳ (ذرت: گندم) بود و با افزایش تعداد ردیف‌های گندم به ۴ و ۶، عملکرد ذرت تا حدودی کاهش یافته است. در بررسی کشت مخلوط سه گانه ذرت، کنف و لوبیای آفریقایی، بیشترین عملکرد دانه ذرت و کنف در کشت خالص آن‌ها و سپس در کشت‌های مخلوط با لوبیای آفریقایی با LER بالاتر از یک (۱/۱۲) مشاهده شد که بیانگر سودمندی اختلاط سه‌گانه این گیاهان نسبت به کشت خالص آن‌ها است (Adeniyan et al., 2007). در آزمایش دیگری، عملکرد ذرت در اثر فاصله بیشتر ردیف‌ها در کشت مخلوط با سیب زمینی نسبت به خالص افزایش نشان داد، ولی در مقابل عملکرد سیب زمینی در اثر سایه‌اندازی بیش از حد ذرت کاهش یافت؛ بنابراین کشت مخلوط ذرت و سیب زمینی با تراکم کمتر ذرت توصیه شده است (Hossein Panahi et al., 2009). خرمی وفا و همکاران (Khoramivafa et al., 2007) مشاهده کردند که افزایش تراکم کدوی تخمه کاغذی تا دو بوته در مترمربع در بین ردیف‌های ذرت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ذرت نداشته است، امّا افزایش بیشتر تراکم کدوی تخمه کاغذی سبب کاهش عملکرد شده است.

بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب متعلق به کشت خالص ذرت و نسبت ۳:۱ بود. در کشت خالص به‌دلیل رقابت درون گونه‌ای، گیاهان اندام هوایی بیشتری تولید کرده‌اند و در نسبت ۳:۱ که رقابت درون گونه‌ای کمتر است، زیست‌توده کمتری نیز تولید شده است. بیشترین مقدار شاخص برداشت را نسبت ۳:۱ (۴۰/۵۳ درصد) به خود اختصاص داد که فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت ۴:۲ و کشت خالص ذرت بود (جدول ۵). نتایج پژوهش حسین پناهی و همکاران (Hossein Panahi et al., 2009) نشان داد که نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ذرت و سیب زمینی بر روی عملکرد بیولوژیک ذرت تأثیر معنی‌داری نداشتند، امّا عملکرد اقتصادی تحت تأثیر قرار گرفت و کشت مخلوط ردیفی بیشترین عملکرد اقتصادی ذرت (۴/۴۷ تن در هکتار) و در نتیجه، بیشترین شاخص برداشت (۴۷/۷۷) را در بین تیمارهای مخلوط به خود اختصاص داد.

ارزیابی سودمندی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین

تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط کلزا با ذرت بر نسبت برابری زمین (LER) معنی‌دار بود ($p\leq۰/۰۱$). اثر سال بر LER جزئی کلزا و LER کل غیرمعنی‌دار بود، امّا LER جزئی ذرت تحت تأثیر اثر سال قرار داشت. همچنین اثر متقابل سال و نسبت‌های کشت در خصوص این شاخص غیرمعنی‌دار شدند (جدول ۶) که نشان‌دهنده عدم تأثیر سال بر روی نسبت‌های کشت مخلوط بود.

بیشترین LER جزئی کلزا در ۳:۱ به‌دست آمد که با نسبت ۶:۲ اختلاف معنی‌داری نداشت. امّا در خصوص LER جزئی ذرت، نسبت ۳:۲ و پس از آن ۴:۲ بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. بنابراین، LER جزئی کلزا نسبت به LER جزئی ذرت تأثیر بیشتری در افزایش LER کل داشته است. همچنین افزایش ردیف‌های ذرت سبب کاهش LER جزئی کلزا و افزایش ردیف‌های کلزا، سبب کاهش LER جزئی ذرت شد (جدول ۷). در کشت مخلوط تأخیری گندم و پنبه نیز با افزایش عرض نوارهای گندم، LER نسبت به نوارهای باریک‌تر گندم کاهش نشان داد و همچنین تأثیر گندم در افزایش LER کل نسبت به پنبه بیشتر بود (Zhang et al., 2007).

جدول ٦- تجزیه واریانس مرکب نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹٤-۱۳۹۳

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of Land Equivalent Ratio (LER) at different patterns of relay intercropping of canola and corn in 2013-14 and 2014-15

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نسبت برابری زمین LER		
		کلزا Canola	ذرت Corn	کل Total
سال Year	1	0.0045$^{n.s.}$	0.0111**	0.0014$^{n.s.}$
خطای سال Year Error	4	0.0355	0.000075	0.0365
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	4	0.1303**	0.7380**	0.0404**
سال×نسبت‌های کشت مخلوط Year*intercropping ratios	4	0.0054$^{n.s.}$	0.00094**	0.0064$^{n.s.}$
خطا (Error)	16	0.0092	0.00011	0.0093
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	11.73	2.84	9.71

** و n.s.؛ به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال یک درصد و عدم معنی‌داری.

** and n.s.: are significant at 1% levels of probability and not significant, respectively.

در خصوص LER کل، در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا با ذرت، کشت ۳:۱ و پس از آن ۶:۲ که دارای نسبت برابری زمین بالاتر از واحد بودند، بیشترین مقدار LER (به‌ترتیب ۱/۱۱ و ۱/۰۲) را به خود اختصاص دادند (جدول ۷) که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط با این دو آرایش کشت نسبت به کشت خالص و سایر نسبت‌های کاشت با LER کمتر از واحد می‌باشد (جدول ۷). این برتری می‌تواند در اثر استفاده بهتر این نسبت کشت از منابع خصوصاً نور نسبت به سایر آرایش‌های کشت مخلوط و خالص باشد. حمزه‌ئی و سیدی (Hamzei and Seyedi., 2012) نیز در پژوهش خود در خصوص کشت مخلوط گندم و کلزا، کشت ۳ردیف کلزا: ۲ردیف گندم را بهترین آرایش کاشت براساس شاخص نسبت برابری زمین (۱/۵۰) گزارش نمودند. نسبت برابری زمین در نسبت ۵۰:۵۰ از کشت مخلوط کلزا و نخود (۱/۲۶) و در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ کلزا و نخود (۱/۱۸) حاکی از برتری کشت مخلوط کلزا و نخود نسبت به کشت‌های خالص آن‌ها بود (Namdari and Mahmoudi, 2013). ذرت نیز در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) با نسبت ۱:۲ بالاترین LER را (۱/۸۳) نسبت به سایر نسبت‌های اختلاط نشان داد (Jamshidi et al., 2008) در حالی‌که بیشترین LER در کشت مخلوط ذرت با لوبیا چیتی در نسبت ۵۰:۵۰ به‌دست آمد (کوچکی و همکاران، ۲۰۰۹).

نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri et al., 2011) با بررسی کشت مخلوط ذرت با گندم، گزارش کردند که LER در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری بین ۱/۲۷ تا ۱/۳۱ بود که نشان‌دهنده ۲۷ تا ۳۱ درصد افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص بود. نویسندگان این افزایش را ناشی از جذب بهتر نور در کانوپی مخلوط نسبت به خالص دانستند و در مجموع، بهترین عملکرد را در مخلوط ۲: ۳ (ذرت: گندم) گزارش نمود. زعفریان و همکاران (Zaefarian et al., 2009) در بررسی کشت مخلوط ذرت و سویا، بیشترین عملکرد دانه ذرت را در تیمار ۷۵٪ ذرت: ۲۵٪ سویا گزارش نمودند و بیان کردند که کلیه تیمارهای کشت مخلوط دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند. با این حال، نسبت ۷۵٪ ذرت: ۲۵٪ سویا به‌دلیل استفاده کارآمدتر ذرت و سویا از منابع و داشتن رشد مطلوب از بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۳۳) برخوردار بود.

جدول ۷- مقایسه میانگین نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹٤-۱۳۹۳

Table 7- Mean comparison of LER at different patterns of relay intercropping of canola and corn in 2013-14 and 2014-15

تیمارها Treatments	LER نسبت برابری زمین		
	کلزا Canola	ذرت Corn	کل Total
سال Year			
سال اول (۹۳-۱۳۹۲) First year (2013-14)	0.80	0.39	0.99
سال دوم (۹۴-۱۳۹۳) Second year (2014-15)	0.83	0.35	0.98
LSD 0.05	0.19	0.01	0.19
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios			
۳ ردیف کلزا: ۱ ردیف ذرت (3 rows of canola: corn 1)	0.91	0.19	1.11
۳ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (3 rows of canola: corn 2)	0.66	0.26	0.92
۴ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (4 rows of canola: corn 2)	0.67	0.22	0.90
۶ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (6 rows of canola: corn 2)	0.82	0.18	1.01
کشت خالص کلزا (Pure canola culture)	1.0	-	1.0
کشت خالص ذرت (Pure corn culture)	-	1.0	1.0
LSD 0.05	0.12	0.01	0.12

میزان آب مصرفی

در این آزمایش، برای کلزا در کشت خالص ۳۷۵۰ متر مکعب در هکتار آب مصرف شد و برای ذرت کل میزان آب مصرفی آن ۹۰۸۱ متر مکعب در هکتار در کشت خالص بود. بنابراین، اگر این دو گیاه در تناوب با هم قرار گیرند، و ذرت پس از برداشت کلزا کشت گردد، در مجموع مقدار ۱۲۸۳۱ متر مکعب در هکتار آب مصرف می‌شود. در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط این دو گیاه، به‌دلیل این که ذرت در تاریخ اول خرداد ماه در بین ردیف‌های کلزا کشت گردید و تا برداشت کلزا در تاریخ ۳۰ خرداد ماه، از دو نوبت آبیاری اخیر کلزا برای جوانه‌زنی و سبز شدن ذرت استفاده گردید، بنابراین، کل میزان آب مصرف شده در مجموع از زمان کاشت کلزا تا برداشت ذرت، ۱۰۹۱۵ متر مکعب در هکتار بود. به این ترتیب، در کشت‌های مخلوط تأخیری کلزا و ذرت، مقدار ۱۹۱۶ متر مکعب در هکتار آب صرفه‌جویی شد. از آنجائیکه که کشاورزان در بهار برای آبیاری محصولات پاییزه که در انتهای دوره رشد و پر شدن دانه قرار دارند و آبیاری محصولات بهاره که تازه کشت گردیده‌اند، با محدودیت آب آبیاری مواجه هستند، این میزان صرفه‌جویی در آب آبیاری بسیار چشمگیر و مشکل‌گشا خواهد بود. در آزمایشی که روی کشت مخلوط ذرت با لوبیا انجام شد نیز مشخص شده است که میزان آب مصرفی در کشت مخلوط کمتر از کشت خالص بوده است (Zarehaghi et al., 2016). با این وجود، نتایج متضادی در کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با عدس و نخود در خصوص میزان مصرف آب گزارش شده است. به‌طوری‌که بیشترین میزان آب مصرفی در کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با عدس و کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با نخود بوده است (Khoramivafa et al., 2011).

نتیجه‌گیری

میزان آب مصرفی در آرایش‌های کشت مخلوط تأخیری نسبت به زمانی که هر دو گیاه به‌صورت خالص در تناوب با هم کشت گردند، کاهش یافت و سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به‌میزان ۱۹۱۶ متر مکعب شد. بنابراین، استفاده از کشت‌های مخلوط تأخیری محصولات پاییزه و بهاره، راهکار مناسبی برای استفاده بهتر از آب آبیاری و رفع

محدودیت آب آبیاری در بهار برای زارعین می‌باشد. از طرفی، کاشت ذرت در بین ردیف‌های کلزا به‌دلیل سایه‌اندازی کلزا سبب کاهش اتلاف رطوبت شده، بنابراین جوانه‌زنی و رشد اولیه ذرت در تیمارهای مخلوط نسبت به خالص بهتر صورت می‌گیرد. از سوی دیگر، زمان مورد نیاز برای آماده‌سازی زمین نیز ذخیره خواهد شد و ماشین‌آلات کمتری وارد زمین می‌شود که ذخیره سوخت و عدم فشردگی خاک نیز از مزایای آن محسوب می‌شوند. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی کلزا (به‌ترتیب ۲۵۰۲/۵ و ۹۷۶۳/۵ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی ذرت (۶۲۰۷/۶ و ۱۵۷۶۹/۲کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص مشاهده شد. بیشترین شاخص برداشت کلزا (۲۶/۰۳) در نسبت اختلاط ۳:۲ و بیشترین شاخص برداشت ذرت در نسبت ۳:۱ (۴۰/۵۳ درصد) به‌دست آمد. از سوی دیگر، در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا با ذرت، کشت ۳:۱ و پس از آن ۶:۲ دارای نسبت برابری زمین بالاتر از واحد و بیشترین مقدار LER (به‌ترتیب ۱/۱۱ و ۱/۰۱) بودند) که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط با این دو آرایش کشت نسبت به کشت خالص و سایر نسبت‌های کاشت با LER کمتر از واحد می‌باشد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل اعتبار پژوهه شماره ۲/۲۹۴۳۶ مصوب تاریخ ۹۲/۱۲/۹ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌گردد.

Refferences

Adeniyan, O.N., Akande, S.R., Balogun, M.O., and Saka, J.O., 2007. Evaluation of crop yield of African yam bean, maize and kenaf under intercropping systems. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 2(1): 99-102.

Amirmardfar, R., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Raei, Y., Khaghaninia, S., Amini, R., and Tabataba Vakili, S.H., 2015. Evaluation of yield and yield components of oilseed rape in the wheat-oilseed rape strip intercropping influenced by chemical and biological fertilizers. Journal of Crop Ecophysiology 8(4): 437-450. (In Persian with English Summary)

Azizi, Kh, Darayei Mofrad, A., Heidari, S., Ahmadi Fard, M., 2014. Studying utilization time of lands under relay intercropping of broadleaf vetch and triticale. Research in Crop Ecosystems 1(4): 105-115**.** (In Persian with English Summary)

Echarte, L., Della Maggiora, A., Cerrudo, D., Gonzalez, V.H., Abbate, P., Cerrudo, A., Sadras, V.O., and Calvi˜no, P., 2011. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean. Field Crops Research 121: 423–429.

Hamzei, J., and Seyedi, M., 2012. Determine of the best combination of wheat and canola intercropping based on agronomy indices, total yield and LER index. Journal of Crop Production and Processing 2(5): 109-119. (In Persian with English Summary)

Hossein Panahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R., 2009. Evaluation of yield and yield component in intercropping of maize and potato. Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 23-30. (In Persian with English Summary)

Jamshidi, Kh, Mazaheri, D., Majnoon Hosseini, N., Rahimian, H., and Peighambari, S., 2008. Evaluation of yield in intercropping of maize and cowpea. Agronomy Journal 80: 110-118. (In Persian with English Summary)

Khoramivafa, M., Dabagh Mohammadi Nasab, A., Zahtab Salmasi, S., Javanshir, A., and Mohammadi, S., 2007. Evaluation of some of agronomical characteristics of maize in intercropping with pumpkin. Journal of Agricultural science 17(4): 75-85. (In Persian with English Summary)

Khoramivafa, M., Eftekharinasab, N., Sayyadian, K., and Najaphy, A., 2011. Water use efficiency in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. styriac)/ chickpea (*Cicer arietinum* L.)-lentil (*Lens esculenta* Moench.) intercropping system associated with several nitrogen levels. Agroecology 3(2): 245-253. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Boroumand Rezazadeh, Z., Nassiri Mahallati, M. and Khorramdel, S., 2012. Evaluation of nitrogen absorption and use efficiency in relay intercropping of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 10(2): 327-334. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Fallah Pour, F., Khorramdel, S., Jafari, L., 2014a. Evaluation of wheat and canola intercropping on yield and yield components and weeds diversity and density. Journal of Agroecology 6(1): 11-20. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Lalehgani, B., and Najibnia, S., 2010. Evaluation of productivity in bean and corn intercropping. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 605-614. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Porsa, H., 2014b. Water capture efficiency, use efficiency and productivity in intercropping of rapeseed, bean and corn. European Journal of Sustainable Development 3(4): 347-358.

Li, L., Sun, J., Zhang, F., Li, X., Rengel, Z., and Yang, S., 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping. II. Recovery or compensation of maize and soybean after wheat harvesting. Field Crops Research 71: 173-181.

Mead, R., and Willey, R.W., 1980. The concept of a 'land equivalent ratio' and advantages in yields from intercropping. Experimental Agriculture 16: 217-228.

Nakhjavanimoghadam, M.M., Dehghanisanji, H., Akbari, M., and Sadreghaen, S.H., 2011. The effects of deficit irrigation on water use efficiency of new early maize variety (CN. KSC.302) using sprinkler system. Journal of Water and Soil 24(6): 1236-1245. (In Persian with English Summary)

Niknezhad, Y., Nassiri, M., and Pirdashti, H., 2009. Effect of planting date and seed amount in relay intercropping of canola before rice harvest under Amol conditions. Journal of Dynamic Agriculture 6(3): 291-302. (In Persian with English Summary)

Namdari, M., and Mahmoudi, S., 2013. Evaluation of yield and productivity indices in planting ratios of intercropping of chickpea (*Cicer arientinum* L.) and canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 14 (4): 346-357. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M., 2011. Light absorption and use efficiency in relay intercropping and continuous culture of winter wheat and maize, Iranian Journal of Field Crops Research 8(6): 878-890. (In Persian with English Summary)

Panhwar, M.A., Memon, F.H., Kalhoro, M.A., and Soomro, M.I., 2004. Performance of maize in intercropping system with soybean under different planting patterns and nitrogen levels. Journal of Applied Sciences 4(2): 201-204.

Van der Meer, J., 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, New York. pp. 273.

Zaefarian, F., Aghaalikhani, M., Rahimian Mashhadi, H., Zand, E., and Rezvani, M. 2009. Yield and growth indices of corn/soybean intercrop under simultaneous competition of redroot pigweed and jimsonweed. Iranian Society of Weed Science 5(1): 107-125. (In Persian with English Summary)

Zarehaghi, D., Neyshabouri, M.R., Majnooni-Heris, A., and Jalilian, Z., 2016. Determining crop coefficient of corn and bean in intercropping in order to increase the precision of irrigation planning. Water and Soil Science 26(1.2): 69-78. (In Persian with English Summary)

Zhang, L., Spiertz, J. H.J., Zhang, S., Li, B., and Van Der Werf, W., 2008a. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton. Plant and Soil 303: 55-68.

Zhang, L., Van Der Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J.H.J., 2008b. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.

Zhang, L. Z., Van der Werf, W., Zhang, S. P., Li, B., & Spiertz, J. H. J., 2007. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. Field Crops Research 103: 178–188.

Zulfiqar, A., Asghar Malik, M., and Cheema, M.A., 2000. Studies on determining a suitable canola-wheat intercropping pattern. International Journal of Agriculture and Biology 2(1-2): 42-44.